

УДК 624.91.02

В.І. Солодкий, канд.техн.наук, доц., Є.В. Довжик, студ.  
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

## УТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ КОНІЧНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

*Рассмотрено образование переходной поверхности при обработке винтовых деталей коническим инструментом с параллельным расположением осей инструмента и детали.*

*Formation of transitional surface is considered at treatment of spiral details a conical instrument with the parallel location of axes of instrument and detail.*

**Постановка проблеми.** Питання механічної обробки гвинтових поверхонь тісно пов'язані з проблемами формоутворення. Рішення задачі вибору найбільш доцільного інструменту для утворення гвинтової поверхні заданого профілю ускладнюється тим, що одна і та ж гвинтова поверхня може бути утворена практично необмеженою кількістю інструментів, які мають різну форму ріжучих кромок [1, 2]. Навіть у тому випадку, коли формоутворюючі інструменти здійснюють однакові кінематичні рухи, форма первинної інструментальної поверхні може бути різною. Проблема ускладнюється тим, що при формуванні гвинтової поверхні профіль утворюючого інструменту залежить не тільки від форми оброблюваною деталі, але і від їх взаємного розташування.

**Стан питання.** В даний час при виготовленні точних гвинтових передач і з'єднань застосовують їх шліфування дисковими абразивними кругами. Існує два принципово різних метода. Перший, це обробка гвинтової поверхні абразивним кругом вісь якого розташована під кутом до осі гвинтової поверхні, як правило, дуже близьким по величині до кута підйому гвинтової лінії. І другий, коли гвинтова поверхня формується одночасно на довжині що перевищує її гвинтовий крок багатонитковим інструментом вісь обертання якого паралельна осі деталі.

**Формулювання проблеми.** За літературними джерелами при дослідженні гвинтових з'єднань основна увага була приділена надійності вже утвореного з'єднання і точності геометричного профілю гвинтової поверхні [3, 4, 5]. У той же час, при шліфуванні таких гвинтових з'єднань як метричні різьби, велике значення має величина і форма перехідної поверхні, яка утворюється в заглибині профілю.

Поява перехідної ділянки викликана тим, що для підвищення продуктивності обробки при шліфуванні різьб застосовують багатониткові абразивні круги конічної форми. При такій схемі обробки вісі обертання абразивного круга і гвинтової поверхні паралельні між собою. В наслідок цього у заглибленні профілю різьби утворюється перехідна ділянка, форма якої не відповідає вимогам креслення.

**Постановка задачі.** У роботі проведено дослідження форми перехідної кривої, що виникає при утворенні гвинтової поверхні інструментом з конічною первинною поверхнею при паралельному розташуванні осей інструменту і деталі. Виконано аналіз причин виникнення перехідних кривих, їх форма і розміри.

**Рівняння лінії контакту інструмент-деталь** Розглянемо схему формоутворення, при якій первинна інструментальна поверхня  $I$  є конічною поверхнею обертання з кутом  $\beta$  при основі конуса, а її рух щодо заготовки є гвинтовим рухом. Як характеристику гвинтового руху приймемо гвинтовий параметр  $p$ .

Зв'яжемо з поверхнею  $I$  інструменту систему координат  $XYZ$ . Вісь  $Z$  співпадає з віссю гвинтового напрямку поверхні  $I$ . Вісь конічної виробляючої поверхні (початкова інструментальна поверхня), яка утворює гвинтову поверхню співпадає з віссю  $Z$  (Рис. 1,а).

З деталлю зв'яжемо нерухому систему координат  $X_dY_dZ_d$ . Позначимо відстань між осями  $Z$  інструмента і  $Z_d$  деталі через  $a$ . У початковий момент направляючі орти координатних систем паралельні між собою.

Відповідно до кінематичного методу визначення спряжених поверхонь, в точці контакту інструменту і деталі вектор  $\mathbf{n}$  нормалі до первинної інструментальної поверхні і вектор  $\mathbf{v}$  швидкості відносного

руху інструмент-деталь, розташовані перпендикулярно відносно один одного. Математично цю умову можна сформулювати через скалярний добуток як  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} = 0$ .

Розглянемо довільну точку  $M$ , яка належить поверхні конічного інструмента (Рис. 1,б). Будемо визначати її положення відстанню  $R_i$  від осі  $Z$ , і відстанню  $Z_i$  від площини  $XY$ . У параметричній формі це можна записати як

$$X = Ri \cos t,$$

$$Y = Ri \sin t,$$

$$Z = Z_0 + Zi.$$

Де  $t$  змінний параметр, який визначає положення досліджуваної точки на колі радіусу  $R_i$ . У векторній формі приведену вище систему рівнянь можна представити вектором  $\mathbf{r}$

$$\mathbf{r} = \{Ri \cos t, Ri \sin t, Z_0 + Zi\}.$$

Визначимо рівняння нормалі  $\mathbf{n}$  до конічної поверхні  $I$  інструмента. Беручи до уваги, що конічна поверхня задана кутом  $\beta$  при основі конуса, можна записати векторне рівняння нормалі до конічної поверхні у вигляді

$$\mathbf{n} = \{\sin \beta \cos t, \sin \beta \sin t, \cos \beta\}$$

де  $\beta$  - кут нахилу нормалі відлічуваний від напрямку осі  $Z$  в напрямі проти годинникової стрілки, а  $t$  – перемінний параметр. Слід зауважити, що в даному випадку рівняння нормалі визначає нормаль одиничної довжини.

У системі координат  $XYZ$  швидкість  $\mathbf{v}$  відносного руху довільної точки поверхні  $I$  визначається як сума двох рухів - обертального, навколо осі  $Z_0$  гвинтового руху з швидкістю  $\mathbf{v}_\omega$  і поступального вздовж осі гвинтового руху з швидкістю  $\mathbf{v}_z$ .

Поступальна складова гвинтового руху  $\mathbf{v}_z$  уздовж осі гвинтового руху, може бути записана у векторній формі як

$$\mathbf{v}_z = \{0, 0, p\omega\}.$$

Обертальна складова гвинтового руху  $\mathbf{v}_\omega$  визначається як результат векторного добутку вектора кутової швидкості  $\omega$  і вектора  $\mathbf{L}$ , який визначає відстань від осі обертання  $Z_0$  до даної точки поверхні  $I$  інструмента. Тоді

$$\mathbf{v}_\omega = \omega \times \mathbf{L}, \quad \omega = \{0, 0, \omega\}, \quad \mathbf{L} = \mathbf{a} - \mathbf{r},$$

$$\mathbf{a} = \{0, -a, 0\}, \quad \mathbf{v}_\omega = \{a\omega + Ri \sin t, -\omega Ri \cos t, 0\}.$$

Виконавши математичні перетворення остаточно одержимо рівняння швидкості відносного руху інструмент - деталь у вигляді

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_z + \mathbf{v}_\omega = \{a\omega + Ri \sin t, -\omega Ri \cos t, p\omega\}.$$

Підставляючи отримані значення вектора нормалі  $\mathbf{n}$  и вектора швидкості відносного руху  $\mathbf{v}$  в рівняння контакту  $\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} = 0$  отримаємо

$$p\omega \cos \beta + a\omega \cos t \sin \beta + Ri \cos t \sin t \sin \beta - \\ - Ri \omega \cos t \sin t \sin \beta = 0$$

після відповідних математичних перетворень маємо

$$a \cos t + p \operatorname{ctg} \beta = 0.$$

Звідки знайдемо рівняння контакту, яке в остаточній формі прийме вигляд

$$\cos t = -\frac{p \operatorname{ctg} \beta}{a}.$$

Спільний розгляд рівнянь контакту і первинної інструментальної поверхні дає характеристику  $E$ . Координати характеристики  $E$  в системі координат  $X_0 Y_0 Z_0$  визначаються як

$$X_d = X, \quad Y_d = -(a - X), \quad Z_d = Z.$$

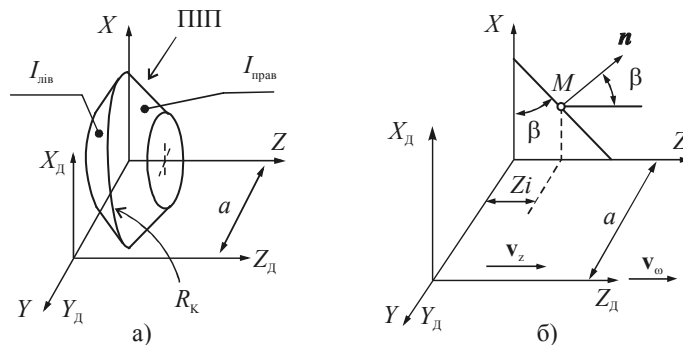


Рис. 1 Системи координат інструмента і деталі

Обертаючи характеристику  $E$  навколо осі  $Z_0$  деталі до її співпадання з площиною  $X_0=0$  отримаємо профіль деталі в її осьовому перерізі. Отриманий профіль описується такою системою рівнянь

$$Z_d = Z_0 + p\varphi, \quad R_d^2 = (r \sin \varphi)^2 + (a - r \cos \varphi)^2, \quad \varphi = \frac{\pi}{2} - t, \quad r = |r|.$$

де величина  $R_d$  - це радіус формоутвореної точки профілю деталі.

Розрахунок координат точок профілю деталі можна виконати в такій послідовності:

- в межах заданої первинної інструментальної поверхні вибирають ряд величин  $Z_0$ , які характеризують положення розрахункових точок вздовж осі деталі;
- за вибраними значеннями  $Z_0$  розраховують відповідні значення  $R_i$ , які характеризують відстань розрахункових точок від осі деталі;

- за рівнянням  $\cos t = -p \frac{\operatorname{ctg} \beta}{a}$  контакту визначають кут  $t$ ;

- підставивши знайдене значення параметра  $t$  в рівняння поверхні деталі, визначають координати  $Y_d Z_d$  осьового перерізу профілю деталі.

Розглянемо чисельний приклад. Відстань між осями гвинтової поверхні і віссю обертання первинної інструментальної поверхні  $a = 50$  мм. Крок гвинтової поверхні оброблюваної деталі становить 10 мм. Тоді гвинтовий параметр гвинтової поверхні деталі дорівнює  $p = 10 / 2\pi = 3,18$  мм/рад. Координати трьох розрахункових точок що належать конічній первинній інструментальній поверхні (Рис. 2.) прийемо такі

$$\begin{aligned} r_1 &= 20 \text{ мм}, \quad Z_{01} = 0 \text{ мм}, \\ r_2 &= 37,32 \text{ мм}, \quad Z_{02} = 10 \text{ мм}, \\ r_3 &= 20 \text{ мм}, \quad Z_{03} = 20 \text{ мм}. \end{aligned}$$

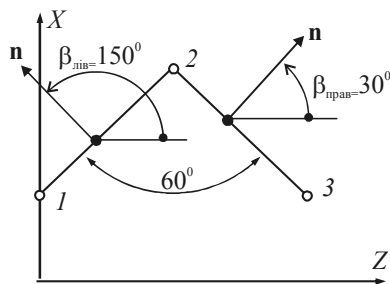


Рис. 2 Профіль інструмента

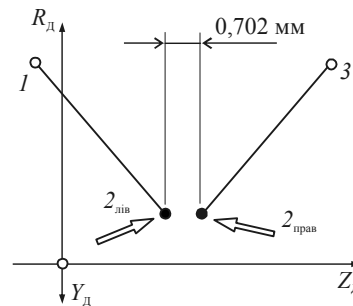


Рис. 3 Профіль деталі

Точка 2 розташована на зовнішньому периметрі конусів і одночасно належить двом його сторонам. Тому розглядатимемо її як дві різні точки, а саме - ліву та праву. Вважатимемо, що точка  $2_{\text{лів}}$  належить лівій стороні інструментальної поверхні, а точка  $2_{\text{пра}}$  до правої сторони. Отже, для ділянки  $1-2_{\text{лів}}$  кут  $\beta = 150^\circ$ , для ділянки  $2_{\text{пра}}-3$  кут  $\beta$  дорівнює відповідно  $+30^\circ$ .

Розглянемо ліву частину профілю конічного інструмента. За залежністю  $\cos t = -p \frac{\operatorname{ctg} \beta}{a}$  для ділянки  $1-2_{\text{лів}}$  знаходимо кут  $t$  який буде дорівнювати  $t_{1-2} = 1,68$  радіан.

Координати характеристики в системі XYZ пов'язаною з первинною інструментальною поверхнею для розрахункових точок будуть

$$\begin{aligned} X &= r \cos t, \quad X_1 = -2,205 \text{ мм}, \quad X_2 = -4,115 \text{ мм}, \\ Y &= r \sin t, \quad Y_1 = 19,878 \text{ мм}, \quad Y_2 = 37,092 \text{ мм}; \\ Z &= Z_0, \quad Z_1 = 0 \text{ мм}, \quad Z_2 = 10 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Тоді кут  $\varphi$  та координати осьового перерізу спряженої гвинтової поверхні деталі для точок  $1-2$  ділянки  $1-2_{\text{лів}}$  будуть

$$\begin{aligned} \varphi_{1-2} &= -0,1105 \text{ рад}, \\ Z_{d1} &= -0,35 \text{ мм}, \quad Z_{d2\text{лів}} = 9,648 \text{ мм}, \\ R_{d1} &= 30,20 \text{ мм}, \quad R_{d2\text{лів}} = 13,55 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Тепер розглянемо ділянку  $\overline{2_{\text{прав}}-3}$ . Для неї параметр  $t$  знайдений за залежністю  $\cos t = -p \frac{\operatorname{ctg} \beta}{a}$  дорівнює  $t_{2-3} = 1,46$  радіан. Тоді відповідно координати характеристики будуть

$$\begin{aligned} X_2 &= 4,115 \text{ мм}, \quad X_3 = 2,205 \text{ мм}, \\ Y_2 &= 37,092 \text{ мм}, \quad Y_3 = 19,878 \text{ мм}, \\ Z_2 &= 10 \text{ мм}, \quad Z_3 = 20 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Отже кут  $\varphi$  та координати точок  $\overline{2_{\text{прав}}-3}$  осового перерізу спряженої поверхні деталі на ділянці  $\overline{2_{\text{прав}}-3}$  будуть

$$\begin{aligned} \varphi_{2-3} &= +0,1105 \text{ рад} \\ Z_{Д2\text{прав}} &= 10,35 \text{ мм}, \quad Z_{Д3} = 20,36 \text{ мм}, \\ R_{Д2\text{прав}} &= 13,55 \text{ мм}, \quad R_{Д3} = 31,20 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Аналіз отриманих результатів показує, що точки  $2_{\text{лів}}$  і  $2_{\text{прав}}$  утворені точкою 2 первинної інструментальної поверхні що складається з двох конусів, на профілі деталі займають різне положення (Рис. 3.). Вони розташовані на однаковій відстані  $R_{Д2\text{прав}} = R_{Д2\text{лів}} = 13,55$  мм від осі деталі. Але між ними є проміжок в напрямку осі гвинтової поверхні  $Z_0$  який дорівнює  $Z_{Д2\text{прав}} - Z_{Д2\text{лів}} = 10,35 - 9,648 = 0,702$  мм.

Отже, точки поверхні деталі  $2_{\text{лів}}$  і  $2_{\text{прав}}$  не співпадають і тому між ними повинна бути перехідна крива.

Зауважимо, про те що точки  $2_{\text{лів}}$  і  $2_{\text{прав}}$  деталі не будуть співпадати між собою, можливо зробити висновок аналізуючи значення параметра  $\varphi$  який має протилежний знак для лівої та правої сторін профілю інструмента, адже  $\varphi_{1-2} = -0,1105$  рад у той час як  $\varphi_{2-3} = +0,1105$  рад.

**Перехідна крива** Для того щоб знайти координати перехідної кривої необхідно прийняти ряд значень кута  $\varphi$  в межах від  $\varphi_{1-2}$  до  $\varphi_{2-3}$  тобто в інтервалі від  $-0,1105$  до  $+0,1105$  радіан.

Треба враховувати, що перехідною ділянкою на деталі формується частиною кола радіусу  $R_{\text{кр}}$  утвореною перетином протилежних сторін конічних поверхонь, що створюють первинну інструментальну поверхню. Отже для перехідної кривої  $R_i = r_2$ .

Аналіз отриманих розрахунків та форми перехідної кривої побудованою за ними (Рис. 4.) показують, що плавного переходу від прямолінійної  $\overline{1-2}$  до ділянки  $\overline{2-3}$  не існує. Не зважаючи на те, що сама перехідна крива  $\overline{2_{\text{лів}}-2_{\text{прав}}}$  носить достатньо плавний характер, в точках її з'єднання з прямолінійними відрізками –маємо перелом. Ширина перехідної кривої дорівнює  $s$ , а висота  $h$ .

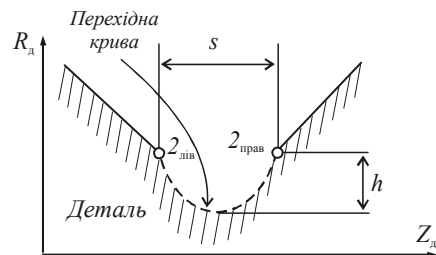


Рис. 4 Перехідна крива

**Висновки** Аналіз результатів отриманих при дослідженні умов формоутворення гвинтової поверхні дисковою первинною інструментальною поверхнею конічної форми показав наступне.

Формоутворення гвинтової поверхні дисковим інструментом конічної форми можливо тільки як часткове із значно вираженою перехідною ділянкою до заглибини профілю деталі.

Перехідною ділянкою профілю деталі не є плавним продовженням основної прямолінійної ділянки. У точці сполучення перехідної кривої і основного профілю деталі існує очка перелому і обидві ділянки на сполучаються по плавній кривій. У то й же час, сама перехідна ділянка має плавний характер.

Отримані результати можуть бути використані при профілювання дискових багатониткових абразивних кругів для шліфування різьбових поверхонь.

### Список літератури

1. Родін П.Р., Равська Н.С., Радзевіч С.П., Солодкий В.І. Основи формоутворення поверхонь. Національний технічний університет України «КПІ», Київ. 1998. С.-194.
2. Родін П.Р., Равська Н.С., Солодкий В.І., Бугай Ю.М. та ін. Металорізальні інструменти. Ч.1. Київ: ІСДО, 1993 С-180
3. Винокур Ю.Н., Гельман В.Е., Савченко А.П. Роликовые передачи. Нефтяное машиностроение. 1982 №5 С41-44
4. Жданов А.В., Шинаков И.В. Прогнозирование надежности резбонарезного технологического оборудования//Актуальные проблемы машиностроения: Материалы I Междунар. Науч.-техн. Конф. Владим. гос. ун-т Владимир, 2001 с-115-117.
5. Козырев В.В. Сравнение шариковых и роликовых передач винт-гайка. Вестник машиностроения. 1983, №11, С31-35.